孤独症儿童非典型人际同步表现及其神经机制

赵丽华[1,2] 李晶[1,2]

1 中国科学院心理研究所，中国科学院行为科学重点实验室，北京，100101

2 中国科学院大学心理学系，北京，100049

摘要 人际同步在个体构建社会交流系统的过程中发挥着重要作用，系统回顾文献发现孤独症谱系障碍（Autism Spectrum Disorder, ASD）儿童在社会互动中，行为、认知和情感不同层面都表现出人际同步减少或中断。进一步的神经影像证据发现，ASD 儿童与同伴之间大脑同步性协调反应降低或中断，较难实现内隐心理状态的共享和外显互动行为的同步。未来研究可能要从认知固化、行为不协调和情感表达失衡三个方面来构建 ASD 儿童非典型人际同步模型，并探索 ASD 儿童非典型人际同步是个体发育受损的产物，还是个体发育受损的潜在机制。

关键词 人际同步，孤独症谱系障碍，脑间神经同步，非典型，儿童

Atypical Interpersonal synchronization and its neural mechanism in children with autism spectrum disorder

ZHAO Lihua[1,2], LI Jing[1,2]

1 *CAS Key Laboratory of Behavioral Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100101*, China*)

2 *Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049*, China*)

Corresponding author：LI Jing，E-mail：lij@psych.ac.cn

Abstract: Interpersonal synchrony has been treated as critical element to build up social communication system. Systematic study of neuroscience literature showed interpersonal synchrony decreased or disrupted at different levels for children who have been identified autism spectrum disorder (ASD), including behavior level, intelligence level and emotional level. Furthermore, magnetoencephalography neuroimaging evidences show that the reduction or interruption of brain synchronous coordination response between ASD children and peers. It is difficult to realize the sharing of implicit mental state and the synchronization of explicit interactive behavior. Future studies related to propose modelling of interpersonal synchrony for ASD individual from three aspects, including cognitive solidification, behavioral disharmony and emotional expression imbalance, and explore whether the atypical interpersonal synchronization of ASD children is the product of impaired social function or the potential mechanism of impaired social function.

Key words: Interpersonal synchrony, autism spectrum disorder, inter-brain synchrony, atypical，children

人际同步是指在同一空间下，参与社会互动的个体之间，在某一时刻，做出相同的动作或处于相同的状态，它是由一系列动态、复杂的两个或多个个体行为、认知和情感相互协调后，共同构建的社会交流系统，并且在人类早期发展中起着重要作用，与亲社会行为、积极情感、认知同理等社会能力密切相关[1-4]。近期有研究指出人际同步对于存在社会功能障碍的群体，如孤独症谱系障碍（Autism Spectrum Disorder, ASD），可能是潜在的临床诊断、评估的生物标识[5,6]。

孤独症谱系障碍（Autism Spectrum Disorder, ASD）是个体在发育早期出现的广泛性神经发育障碍，伴随终生并影响个体社会功能。近来有研究发现，ASD 儿童、青少年在认知、情感和行为三个方面存在协调中断或减少，引发人际同步中断或减少，这些可能是引发社交困难的潜在机制[5-8]。

基金项目：国家自然科学基金项目（31971009）和中国科学院青年创新促进会的资助

作者简介：赵丽华(1980-),女,甘肃人,硕士研究生,主要研究方向为孤独症儿童的人际同步干预

通讯作者：李晶，副研究员，博导，Email: lij@psych.ac.cn

1. 孤独症儿童人际同步的非典型表现

1.1 行为同步

行为同步是指两个或多个互动的个体行为在时间和形式上对齐，如运动同步[1]、声音同步[3]、感官刺激同步[7]。Bloch 等人利用人际协调动力学对 ASD 个体内部连通性进行量化分析，发现 ASD 个体内部连通性和协调性降低，可能引发动作同步性和运动协调性降低[7]。因而有研究者提出将儿童的运动协调性作为诊断 ASD 的标志[8]，并认为运动同步性减弱是 ASD 儿童产生社会交流缺陷的机制[6]。

在社会互动中，个体通过不断转动头部和眼睛进行观察和收集信息，与已有经验结合，判断是否与同伴行为保持一致，这一选择过程不仅与个体内协调性有关，也与个体采集和处理信息能力有关[9]。然而，当 ASD 儿童处于实时动态的社会互动时，相对于单独行动或简单互动，其与人的目光接触减少，并且处理社会信息的能力下降[10]。最近一项研究通过头戴式眼动追踪仪采集了在面对面结构对话中 ASD 儿童和 TD 儿童目光关注区域的数据，证实了 ASD 儿童眼神回避行为可能存在情境特异性，当需要关注的互动信息内容增多时，ASD 儿童注视同伴的时长减少，更容易去关注与互动无关的信息，对关键社交线索的敏感性降低[11]，这可能导致 ASD 儿童无法与同伴保持一致的行为，在社会互动中，呈现出行为同步中断或减少的状况。

1.2 认知同理

认知同理是个体理解他人的认知状态、想法、信念和意图，选择采纳他人观点的过程，并根据经验去推理他人观点及其可能引发的行为、情绪等心理状态，是人际同步的基础[2]。然而，ASD 儿童在理解他人想法、推断他人动机和意图、识别关键的社会线索和辨析有歧义的语句时存在困难，会关注于同伴表达内容的某一点，在语言表达和理解之间存在差异，无法与互动同伴形成共同的沟通策略，从而导致人际协调性下降[5,12-14]。

ASD 个体在不同情境下认知表现不同，更倾向重复使用被同伴理解的策略，这意味着在二元互动中，当社会信息变得简单，不需要时刻关注、感知和更新社会信息时，ASD 儿童的人际同步能力有可能并未受损[14]。有研究者发现 ASD 成年人通过认知能力来弥补社交缺陷，特别是高功能 ASD 个体的会采用认知补偿策略，如 ASD 个体在社交中会注视对方，但是无法从眼神交流中推测他人的心理状态[15,16]。可能需要进一步探究认知补偿机制对于 ASD 儿童人际同步的影响，以及人际同步干预对 ASD 儿童的认知补偿机制的影响。

1.3 情感共鸣

情感共鸣是指在社会互动中，个体之间的情绪表达一致[4]。ASD 儿童在自发模仿同伴面部表情上会出现延迟、会无意识回避眼神接触，在识别他人面部表情和自身面部表情表达含义上存在异常[17]，这些可能都会导致 ASD 儿童与他人通过面部表情沟通交流时，经常会采用一些怪异、呆板的面部表情，情绪表达上存在不匹配的情形，进而出现情感共鸣减少[18]。也有研究者指出在社会互动中，ASD 儿童很少表现出情绪共鸣，可能不是孤独症本身症状引起的，有可能是共同发生的述情障碍（一种人格特质，指个体难以识别自己或他人的情绪感受）[19]。未来研究可能需要进一步去探究 ASD 儿童情感共鸣减少的潜在机制。

人类的情感共鸣还与声音同步有关，有意使用声音同步可以增强沟通者之间的情感共鸣反应。Nishimura 等人发现机器人与人类声音同步时，可以引起人类的情绪共鸣[3]。近来也有研究发现 ASD 儿童与同伴间存在声音不同步或中断，如语音延迟、与语言相关的发声减少、和声音互动的反馈回路中断、语音韵律异步性等问题[20]。Stroganova 等人对学龄期儿童进行单耳听觉刺激，采用脑磁图来记录听觉反应，与对照组儿童相比，ASD 儿童左半球听觉皮层的神经反应迟缓，而右半球的神经反应与正常儿童无差异[21]。该研究推测左前

外侧颞横回神经活动的选择性减缓可能会阻碍 ASD 儿童语言的音调加工，导致 ASD 儿童语言感知困难，这可能是造成 ASD 儿童声音不同步，进而引发情绪共鸣减少的潜在机制之一。在未来研究中，可以进一步关注面部表情不同步、声音不同步对 ASD 儿童人际同步的影响。

1.4 小结

ASD 儿童进行社会互动时，在行为同步、认知同理和情感共鸣三个方面都存在人际同步减少或中断，且三者相互影响，形成了非典型的人际互动模式[6]。ASD 儿童很难去关注、提取、理解与社会互动相关的信息，并且在收集信息过程中，更倾向于聚焦细节，导致对社会信息处理不足，最终表现为行为异质性、执行功能障碍、无法动态回应同伴，难以与同伴建立情感纽带[4,6,20]。当观察信息缺失，ASD 儿童可能需要更多的时间窗口去处理信息，就有可能无法根据同伴状态及时调整自身行为，导致其个体内部感知和行为之间出现联结缺陷，进一步影响社会认知功能，难以理解他人的心理和情绪状态，从而引发 ASD 儿童出现人际同步中断的情况[7,14]。

2. 孤独症儿童人际同步的神经机制

2.1 神经生物基础

神经递质为人类的社会互动提供了神经生物学基础，近来有研究不断发现 ASD 儿童非典型社会互动模式可能与某些神经递质分泌异常有关，如多巴胺、褪黑素和催产素[22,23]。

首先，多巴胺作为重要的调节性神经递质，会促进个体利用已有经验，预测行为结果，从而做出最优选择。Pavăl 和 Micluția 基于过去五年对于 ASD 个体多巴胺系统的研究，推测 ASD 个体的纹状体/前额皮质神经回路存在缺陷，从而导致中脑多巴胺系统功能故障，错误处理环境信息，导致行为异常[22]。ASD 儿童人际同步缺陷与多巴胺系统的相关性有待进行实证研究。

其次，褪黑素与特定脑区生理节律有关，ASD 儿童体内褪黑素分泌紊乱，皮质醇水平异常，导致生理节律缺乏连续性，睡眠-觉醒节律发生改变，睡眠时间变少，昼夜节律失调，这些不仅影响 ASD 个体神经发育，也使得 ASD 个体更难适应内、外部环境的变化。已有临床证据表明，采用外源性褪黑素干预 ASD 儿童睡眠，睡眠总时长增加，睡眠质量得到改善，从而减轻 ASD 症状[23]。褪黑素与 ASD 儿童个体内同步是否存在双向调节的作用，可能是未来的研究方向。

再次，催产素是生理行为同步的基础，会促进脑内 α 波段神经振荡的同步性增强，提高了个体与他人同步、理解他人和适应他人的能力，进而增进了社会互动。有研究者对 28 篇采用催产素干预 ASD 个体的研究文献进行元分析后发现催产素虽然改善了 ASD 个体的社交互动模式，但是在非社交领域，催产素没有明显改善 ASD 症状[24]。还有研究发现，对 ASD 儿童进行为期 4 周的鼻内催产素治疗后，相比较给予安慰剂的对照组，实验组 ASD 儿童血浆中催产素浓度增加，社交能力增强，重复刻板行为并未减少[25]。因而，催产素是与 ASD 儿童人际同步中断直接相关，还是通过影响其它神经递质（如多巴胺）的分泌来促进人际同步，有待进一步的研究探索背后的机制。

2.2 单脑神经基础

大脑是一个复杂的神经生理网络，面对纷杂的社会信息，进行动态识别、处理和接受，据此去调节个体的内在状态，当个体认知、行为和情感发生协调时，会激活不同的脑区和潜在的神经元网络[2]。

在社会互动中，ASD 儿童存在非典型人际同步的情况，可能与 ASD 个体在额叶、颞叶和顶叶部分脑区存在不同程度的非典型激活和受损有关[26]。已有神经影像学研究发现，

ASD 儿童语言理解能力存在缺陷，可能源于左半球颞叶皮层的早期畸变、颞叶胼胝体纤维结构异常和皮层区域基因组异变[27]。与 TD 儿童相比，ASD 儿童在多项与人际同步能力相关的任务中表现不佳，如在反映人际同步性的清理积木任务中，ASD 儿童大脑出现非典型偏侧化，前额中下回、颞中上回激活度减弱，下顶叶皮层/小叶激活度增强[28]。不难发现 ASD 儿童人际同步中断或减少可能与特定脑区的非典型性激活有关，这些特定脑区是理解 ASD 儿童存在社会功能缺陷的重要途径。

ASD 儿童还存在脑功能连接异常的情况，Nebel 等人运用功能性磁共振成像收集了 8~12 岁 TD 儿童和 ASD 儿童静息状态下的脑区激活数据，发现 ASD 儿童个体内在视觉-运动不同步，运动区域和视觉区域之间存在非典型功能连接或连接中断[29]，这可能使得 ASD 儿童无法完成从面孔识别到理解他人意图，无法形成和他人协调同步的社交互动模式[9]。

2.3 脑间神经同步

脑间同步是指两个个体间神经耦合的现象，外界信息刺激正常人额下脑区时，个体间会产生自发同步的身体运动，并且会促进个体间实时信息的传递[30]。然而，ASD 儿童在共同注意方面存在缺陷，可能无法激活与共同关注相关脑区，从而形成个体间大脑皮层同步，最终导致 ASD 个体很难通过眼神交流来理解和共享同伴意图，缺乏对社会交往基本机制的洞察力[11]。有研究以功能性近红外光谱技术（functional near-infrared spectroscopy，fNIRS）为基础进行超扫描研究，进一步探索了 ASD 儿童和父母在人际协调任务中脑间耦合程度。结果表明，与单独行为/非交互行为任务相比，ASD 儿童与父母间完成协调互动的任务过程中，促进了 ASD 儿童额叶皮层的神经同步化，并且在合作任务的协调过程中，ASD 儿童的症状特征越明显，其合作行为任务完成越差，与父母的神经同步减少，即个体间神经同步性会受到 ASD 症状的影响[31]。但是也有研究者在亲子合作中，使用相同实验任务，研究发现 ASD 儿童与同伴间的运动同步性降低，但是神经同步性组间差异并不显著[32]。脑间神经同步可能是进一步探索 ASD 儿童非典型人际同步的重要途径。

3. 人际同步干预对孤独症的影响

3.1 人际同步干预改善孤独症社会能力的可能性

人际同步影响了个体社会认知和情感的发展，促进了个体的亲社会行为，增强了对他人的理解，提高人际间互动质量[4]。Trevarthen 指出，2-3 个月大的婴儿和母亲通过面对面的不断互动，最初在右脑间形成视觉、听觉和触觉的非语言交流方式，母婴之间逐渐达到人际同步的状态[33]。已有文献证实，在社交互动中，ASD 婴幼儿缺乏自发的主体间交流行为，也无法与互动同伴进行非语言情感交流，人际同步几乎很难发生[34]。最新一项研究通过追踪婴儿在 6 个月、9 个月和 12 个月时，与母亲在亲子游戏中互动行为数据（凝视、发声等），发现在二元互动中，婴儿同步性和反应性越低时，在 36 个月时，ASD 特征越明显[35]。这些引起我们的思考，在 ASD 儿童发展早期，基于人际同步的干预也许可以促进 ASD 儿童脑神经发育，从而改善 ASD 儿童的社会交互能力。最近有研究通过观察编码系统，对 ASD 幼儿为期一年的干预会谈进行定量分析，发现二元交互性增强后，ASD 幼儿可以参与到更复杂的交互活动中，可以和治疗师实现共享活动，呈现出人际同步的特征[36]。可见，人际同步不仅是早期临床评估的生物标识[5]，还有可能成为有效的早期干预手段。在大脑可塑性增强的关键时期，早期的人际同步干预如何改善 ASD 的社会能力还需要投入更细致的研究，并对其社会效度进行深入探索。

3.2 音乐/舞蹈干预与人际同步干预机制的相似性

集体环境中的同步节奏行为，如舞蹈和音乐，促进群体凝聚力和合作行为。音乐是通过激发情绪来唤醒个体间生理层面同步，并利用动作、表情和声音呈现出来，促进 ASD 儿

童人际同步发生的可能性[37]。有研究通过成对个体间完成敲击电子鼓的任务，对 ASD 儿童进行音乐节奏干预，发现经过 8 次干预后，ASD 儿童与他人共同行动的能力得到提高，与同伴间不同步击鼓行为减少[37]。在音乐治疗过程中，音乐治疗师一般选择孩子偏好的乐器来演奏孩子喜欢的歌曲，并通过即兴歌词和孩子沟通交流，研究发现在音乐治疗期间，即使严重生理缺陷且不讲话的孩子和父母之间存在脑间同步[38]。最近也有研究通过对音乐治疗中儿童的视频进行计算机分析，发现 ASD 儿童每秒出现 2 次以上重复节奏时，治疗师和儿童之间的同步程度会变高，可是在治疗结束时，ASD 症状程度和与治疗师的同步能力并未得到明显改善[39]。Schirmer 等人指出在二元互动中，音乐能够促进人际同步，可能是音乐节奏将高度结构化的时间强加在互动的个体上，放大了个体与音乐相关的节奏频率，使得个体没有时间去反思自个当下的状态，阻碍了个体间可能发生不同的社会进程[40]。这可能也解释了，在音乐治疗中，互动个体间同步性增高，但是结束后，ASD 儿童同步能力没有明显改善。因而，对于舞蹈和音乐干预的有效性，可能需要进一步探究舞蹈和音乐治疗中的有效治疗因子，并揭示运动模仿和人际同步共同的神经机制。

4. 总结与展望

ASD 儿童在人际互动中，不仅在外显行为呈现不同步，还在内隐认知、情感方面难以与他人产生同理心[2,33]，这种非典型人际同步表现可能是其社会功能障碍的潜在机制[5,6]，也可能作为早期干预手段，来影响 ASD 婴幼儿的脑神经网络发展，进而改善其社会功能[36,37,39]。对未来研究的进一步展望主要包含以下几个方面：

第一，ASD 儿童在行为、认知和情感方面的非典型人际同步表现与症状严重程度正相关。ASD 儿童在接受和处理信息能力方面存在缺失，具有较高孤独症特征的个体对环境中的社会信息可能会接受到一部分，但是他们更会坚信自己内心已有的信念、想法，不能根据新的社会信息及时调整行为，预测他人意图方面存在困难，会出现运动不协调和面部表情不匹配[4,6,7,14,20]。未来的工作方向可能要进一步从认知固化、行为不协调和情感表达失衡三个方面来构建 ASD 儿童非典型人际同步模型。

第二，ASD 非典型人际同步互动和个体发育相互影响。亲子间互动的同步性不仅对儿童的情感发展起着重要作用，还促进了儿童的社会认知发展和情绪调节能力的发展[4]。曾有研究发现 ASD 婴幼儿自发互动行为越少，人际同步行为越少，ASD 症状越明显[34,35]。也有研究指出 ASD 儿童与同伴之间存在互动同步中断，可能还与互动同伴的社会能力有关[6]。从婴儿期到青春前期，个体在社会认知和神经发育方面都会发生显著变化，可能进一步探索 ASD 儿童脑间同步的神经机制时，需要考虑不同年龄阶段的发育特征和互动个体的个体特征是如何影响大脑同步性的变化。

另外，对于 ASD 儿童非典型人际同步的研究结果是否可以直接应用到临床评估、诊断和干预中，这是值得思考的。在未来探究 ASD 儿童的人际同步干预时，可能还需要考虑模拟现实环境和真实自然环境之间的差异性，以及当 ASD 儿童身处复杂的、自然的社会互动中，人际同步干预的有效性。

参考文献：

[1] Rinott M, Tractinsky N. Designing for interpersonal motor synchronization [J]. Hum Comp Inter, 2021: 1-48.

[2] Tholen M G, Trautwein F M, Bockler A, et al. Functional magnetic resonance imaging (fMRI) item analysis of empathy and theory of mind [J]. Hum Brain Mapp, 2020, 41(10): 2611-2628.

[3] Nishimura S, Nakamura T, Sato W, et al. Vocal synchrony of robots boosts positive affective empathy [J]. Appl Sci, 2021, 11(6): 2502-2520.

[4] Yaniv A U, Salomon R, Waidergoren S, et al. Synchronous caregiving from birth to adulthood tunes

humans' social brain [J]. Proc Natl Acad Sc, 2021, 118(14): e201290011.
[5] Mcnaughton K A, Redcay E. Interpersonal synchrony in autism [J]. Curr Psychiatry Rep, 2020, 22(3): 12-23.
[6] Zampella C J, Csumitta K D, Simon E, et al. Interactional synchrony and its association with social and communication ability in children with and without autism spectrum disorder [J]. J Autism Dev Disord, 2020, 50(9): 3195-3206.
[7] Bloch C, Vogeley K, Georgescu A L, et al. INTRApersonal synchrony as constituent of INTERpersonal synchrony and Its relevance for autism spectrum disorder [J]. Front Rob AI, 2019, 6: 73-81.
[8] Baillin F, Lefebvre A, Pedoux A, et al. Interactive psychometrics for autism with the human dynamic clamp: Interpersonal synchrony from sensorimotor to sociocognitive domains [J]. Front Psychiatry, 2020, 11: 510366.
[9] Stoodley C J, Tsai P T. Adaptive prediction for social contexts: the cerebellar contribution to typical and atypical social behaviors [J]. Annu Rev Neurosci, 2021, 44: 475-493.
[10] Liu Q, Wang Q, Li X, et al. Social synchronization during joint attention in children with autism spectrum disorder [J]. Autism Res, 2021, 14(10): 2120-2130.
[11] Zhao Z, Tang H, Zhang X, et al. Characteristics of visual fixation in chinese children with autism during face-to-face conversations [J]. J Autism Dev Disord, 2021: 1-13.
[12] Arutiunian V, Lopukhina A, Minnigulova A, et al. Expressive and receptive language in Russian primary-school-aged children with autism spectrum disorder [J]. Res Dev Disabil, 2021, 117: 104042.
[13] Georgiou N, Spanoudis G. Developmental language disorder and autism: Commonalities and differences on language [J]. Brain Sci, 2021, 11(5): 589-618.
[14] Wadge H, Brewer R, Bird G, et al. Communicative misalignment in autism spectrum disorder [J]. Cortex, 2019, 115: 15-26.
[15] Livingston L A, Kumarendran S M, Shah P. Definition: Compensation [J]. Cortex, 2021, 134: 365-365.
[16] Livingston L A, Shah P, Milner V, et al. Quantifying compensatory strategies in adults with and without diagnosed autism [J]. Mol Autism, 2020, 11(1): 1-10.
[17] Briot K, Pizano A, Bouvard M, et al. New technologies as promising tools for assessing facial emotion expressions impairments in ASD: A systematic review [J]. Front Psychiatry, 2021, 12: 634756.
[18] Mazzoni N, Landi I, Ricciardelli P, et al. Motion or emotion? Recognition of emotional bodily expressions in children with autism spectrum disorder with and without intellectual disability [J]. Front Psychol, 2020, 11: 478-491.
[19] Giannotti M, De Falco S, Venuti P. Alexithymia, not autism spectrum disorder, predicts perceived attachment to parents in school-age children [J]. Front Psychol, 2020, 11: 332-340.
[20] Schwartz S, Wang L, Shinn - Cunningham B G, et al. Atypical perception of sounds in minimally and low verbal children and adolescents with autism as revealed by behavioral and neural measures [J]. Autism Res, 2020, 13(10): 1718-1729.
[21] Stroganova T A, Komarov K S, Sysoeva O V, et al. Left hemispheric deficit in the sustained neuromagnetic response to periodic click trains in children with ASD [J]. Mol Autism, 2020, 11(1): 100-122.
[22] Pavăl D, Micluția I V. The dopamine hypothesis of autism spectrum disorder revisited: Current

status and future prospects [J]. Dev Neurosci, 2021, 43: 73-83.
[23] Lalanne S, Fougerou-Leurent C, Anderson G M, et al. Melatonin: From pharmacokinetics to clinical use in autism spectrum disorder [J]. Int J Mol Sci, 2021, 22(3): 1490-1511.
[24] Huang Y, Huang X, Ebstein R P, et al. Intranasal oxytocin in the treatment of autism spectrum disorders: A multilevel meta-analysis [J]. Neurosci Biobehav Rev, 2021, 122: 18-27.
[25] Parker K J, Oztan O, Libove R A, et al. Intranasal oxytocin treatment for social deficits and biomarkers of response in children with autism [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2017, 114(30): 8119-8124.
[26] Quinones-Camacho L E, Fishburn F A, Belardi K, et al. Dysfunction in interpersonal neural synchronization as a mechanism for social impairment in autism spectrum disorder [J]. Autism Res, 2021, 14(8): 1585-1596.
[27] Lombardo M V, Eyler L, Pramparo T, et al. Atypical genomic cortical patterning in autism with poor early language outcome [J]. Sci Adv, 2021, 7(36): eabh1663.
[28] Su W C, Culotta M, Mueller J, et al. Differences in cortical activation patterns during action observation, action execution, and interpersonal synchrony between children with or without autism spectrum disorder (ASD): An fNIRS pilot study [J]. PLoS One, 2020, 15(10): e0240301.
[29] Nebel M B, Eloyan A, Nettles C A, et al. Intrinsic visual-motor synchrony correlates with social deficits in autism [J]. Biol Psychol, 2016, 79(8): 633-641.
[30] Pan Y, Novembre G, Song B, et al. Dual brain stimulation enhances interpersonal learning through spontaneous movement synchrony [J]. Soc Cogn Affect Neurosci, 2021, 16(1-2): 210-221.
[31] Wang Q, Han Z, Hu X, et al. Autism symptoms modulate interpersonal neural synchronization in children with autism spectrum disorder in cooperative interactions [J]. Brain Topogr, 2020, 33(1): 112-122.
[32] Kruppa J A, Reindl V, Gerloff C, et al. Brain and motor synchrony in children and adolescents with ASD-a fNIRS hyperscanning study [J]. Soc Cogn Affect Neurosci, 2021, 16(1-2): 103-116.
[33] Schore A N. The interpersonal neurobiology of intersubjectivity [J]. Front Psychol, 2021, 12: 648616.
[34] Riva V, Caruso A, Apicella F, et al. Early developmental trajectories of expressive vocabulary and gesture production in a longitudinal cohort of Italian infants at high - risk for Autism Spectrum Disorder [J]. Autism Res, 2021: 1-13.
[35] Kellerman A M, Schwichtenberg A, Abu - Zhaya R, et al. Dyadic synchrony and responsiveness in the first year: Associations with autism risk [J]. Autism Res, 2020, 13(12): 2190-2201.
[36] Bertamini G, Bentenuto A, Perzolli S, et al. Quantifying the child–therapist interaction in ASD intervention: An observational coding system [J]. Brain Sci, 2021, 11(3): 366-389.
[37] Yoo G E, Kim S J. Dyadic drum playing and social skills: Implications for rhythm-mediated intervention for children with autism spectrum disorder [J]. J Music Ther, 2018, 55(3): 340-375.
[38] Samadani A, Kim S, Moon J, et al. Neurophysiological synchrony between children with severe physical disabilities and their parents during music therapy [J]. Front Neurosci, 2021, 15: 531915.
[39] Dvir T, Lotan N, Viderman R, et al. The body communicates: Movement synchrony during music therapy with children diagnosed with ASD [J]. The Arts in Psychotherapy, 2020, 69: 101658.
[40] Schirmer A, Lo C, Wijaya M. When the music's no good: Rhythms prompt interactional synchrony but impair affective communication outcomes [J]. Commun Res, 2021: 1-23.